نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 2، خرداد-تیر 1399 ص.191-171

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 2, June. July. 2020, p. 171- 191

پیش‌بینی پذیرش کلی میوه موز با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتالی و مدل رگرسیون فرآیند گاوسی در خلال انبارمانی

شیما نصیری[1]- سامان آبدانان مهدی‌زاده[2*]- مریم نداف‌زاده[3]

تاریخ دریافت: 1398/01/13
تاریخ پذیرش: 1398/04/17

چکیده

توسعه نقاط قهوه‌ای رنگ تأثیر قابل توجهی بر بافت، رنگ و طعم میوه موز دارد به‌طوری که ظهور این لکه‌ها کیفیت میوه را کاهش داده و بازارپسندی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش تغییرات مجموعه‌ای از پارامترهای رنگی (قرمز (R)، سبز (G)، آبی (B)، عامل روشنایی (L)، تغییرات رنگ از سبز به قرمز (a)، تغییرات رنگ از آبی به زرد (b)، فام رنگ (h)، اشباع (s)، مقدار روشنایی (v)، کروما (C)، زاویه شیب نمودار دستگاه مختصات دوبعدی a وb در فضای رنگی Lab (H))، ابعادی (قطر، شعاع انحنا، طول بزرگ و طول کوچک) و شیمیایی (کل مواد جامد محلول (TSS)، pH و اسیدیته کل قابل تیتراسیون) 5 گروه میوه موز (متفاوت از لحاظ شکل ظاهری) در روزهای صفر، 2، 4و 6 (بعد از انبارمانی) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه نشان داده شد که با به‌کارگیری پارامترهای غیرمخرب در توسعه مدل رگرسیون فرآیند گاوسی (GPR)، کیفیت میوه موز و همچنین میزان بازارپسندی (پذیرش کلی میوه) آن در خلال انبارمانی قابل ارزیابی و پیش‌بینی (با ضریب همبستگی 0/91، MAPE (20/47)، RMSE (0/43)، SRE (0/71) و RAV (0/20)) است؛ بدین ترتیب با استفاده از روش پیشنهاد شده در این تحقیق می‌توان مطابق با تقاضای مصرف کننده، محصول مورد نیاز را به بازار عرضه نمود و از این طریق هزینه‌های اقتصادی را به‌طور چشمگیری کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: انبارمانی، پذیرش کلی میوه، پردازش تصاویر دیجیتالی، رگرسیون فرآیند گاوسی، موز

مقدمه

موز با نام تجاری *Musa Cavendishii* در مناطق گرمسیری که از رطوبت مطلوبی برخوردار هستند، کشت می‌شود. این گیاه که بومی مناطق حاره‌ای جنوب شرق آسیا، شبه جزایر مالزی و استرالیا می‌باشد پس از برنج، گندم و ذرت به‌عنوان چهارمین محصول مهم غذایی در جهان شناخته شده است (Singh *et al*., 2010). در ایران نیز این میوه مفید و مغذی در مناطق بلوچستان و هرمزگان کشت و تولید گسترده‌ای دارد. کیفیت این محصول تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند عوامل بیولوژیکی و زیست محیطی، روش‌های برداشت و جابه‌جایی محصول، طول دوره و نوع انبارداری است که گاهی سبب پیامدهای اقتصادی قابل توجهی می‌شوند.

در سال‌های اخیر به‌منظور بررسی کیفیت و طبقه‌بندی محصولات کشاورزی، سیستم‌های مختلفی مبتنی بر تکنولوژی بینایی کامپیوتر به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفتند. این سیستم‌ها به‌عنوان یک روش تجزیه و تحلیل کامپیوتری تصویر شناخته شده و در سنجش کیفیت بصری محصولات مختلف عملکرد موفقی داشته‌اند. برای اولین بار از سیستم بینایی ماشین برای شمارش تعداد پاپایا (Riyadi *et al*, 2007)، انگور (Rodriguez *et al*, 2012) و ارزیابی کیفیت خوشه خرما (Roseleena *et al*, 2011) استفاده کردند.

در چند دهه گذشته مطالعات متعددی در زمینه فرآیند قهوه‌ای شدن برخی از محصولات کشاورزی نظیر موز، سیب، گلابی و آووکادو با کمک پردازش تصویر صورت پذیرفته است. Quevedo و همکاران (2009) برای توصیف آنزیم‌های قهوه‌ای در برش موز از اطلاعات رنگی به‌دست آمده از تصاویر دیجیتال استفاده کردند. Yoruk و همکاران (2004) سطوح رنگی غیرهمگن را در نمونه‌های سیب طی واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی تخمین زدند. این محققان از اطلاعات فضای رنگی RGB در سطح محصول به‌جای اطلاعاتی که از ارزیابی تغییرات زمانی در طیف رنگی حاصل می‌شد، استفاده نمودند. همچنین

1 و 2- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران.
3- دانشجوی دکتری، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
(*-نویسنده مسئول: Email: saman.abdanan@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i2.79904

سلطانی کاظمی و همکاران (1396) از پردازش تصاویر دیجیتالی و آنالیز رگرسیونی چندگانه برای برآورد میزان دو آنزیم PPO و POD موز در طول دوره انبارمانی استفاده کردند. در این پژوهش طبق نتایج به دست آمده از همبستگی (POD=%90/3 و PPO=%89/6) نشان داده شد که پردازش تصاویر دیجیتالی و رگرسیون چندگانه در پیش‌بینی آنزیم‌های PPO و POD دارای عملکرد مطلوب و قابل قبولی می‌باشند. در همین راستا Quevedo و همکاران (2008) به‌منظور تعیین لکه‌های قهوه‌ای بر روی میوه موز، مقدار فرکتال به‌دست آمده از طریق روش تجزیه و تحلیل تبدیل فوریه بافت فرکتال را ارزیابی کردند. مطابق نتایج این پژوهش مشخص گردید که مقدار فرکتال با گذشت زمان افزایش می‌یابد. Mendoza و Aguilera (2004) با استفاده از تکنیک پردازش تصویر عمل شناسایی مراحل رسیدن موز را بر اساس ویژگی‌های رنگی، بافتی و شناسایی نقاط قهوه‌ای با دقت 98% انجام دادند. Nadafzadeh و همکاران (2018) نیز با به‌کارگیری پارامترهای غیرمخرب به‌عنوان ورودی‌های یک مدل غیرخطی ریاضی و همچنین با استفاده از GP[1]، معادلاتی را به‌منظور پیش‌بینی و بررسی تغییرات فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنول‌اکسیداز (PPO) و پراکسیدازها (POD) طی فرآیند قهوه‌ای شدن پوست موز توسعه دادند. در این پژوهش ضرایب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده (از طریق روش آزمایشگاهی) و مقادیر پیش‌بینی شده (توسط مدل طراحی شده) برای دو آنزیم PPO و POD به‌ترتیب برابر 0/98 و 0/97 بود.از آنجایی که موز یک میوه فرازگرا است، به همین خاطر در مرحله بلوغ چیده می‌شود. تاکنون تحقیقات بسیاری پیرامون ارزیابی بلوغ میوه موز با استفاده از روش پردازش تصویر انجام پذیرفته است؛ به‌عنوان نمونه، Probha و Kumar (2015) از ویژگی‌های رنگی و ابعادی میوه موز برای دسته‌بندی رده‌های زیر بالغ، بالغ و بیش از حد بالغ استفاده کردند. طبق این تحقیق مشخص گردید که ویژگی‌های رنگی استخراج شده از تصویر نسبت به سایر ویژگی‌ها در تشخیص مراحل مختلف رسیدگی موز مؤثرتر هستند. Cano و همکاران (1990) نیز تأثیر بلوغ و واکنش حرارتی میوه موز را قبل از اعمال فرآیند انجماد مورد بررسی قرار دادند. این محققین نشان دادند که تیمارها بر اساس سیستم آنزیمی PPO، POD و سطح بلوغ موز در مدت آزمایشات اثر متفاوتی را از خود بروز می‌دهند. نهایتاً بر اساس این مشاهدات، مرحله مناسب بلوغ مشخص گردید. در پژوهشی دیگر با بررسی فرآیند رسیدن میوه موز مشاهده شد که پارامتر TSS[2] و استحکام میوه موز در طول این فرآیند دارای روابط چند جمله‌ای هستند اما تغییر رطوبت در مراحل مختلف بلوغ، یک رابطه خطی را به دنبال دارد (Rajkumar *et al.*, 2012). همچنین در یک مطالعه با ارزیابی تأثیر بلوغ در عمر مفید و تغییرات کیفیت در موز به هنگام ذخیره‌سازی و نگهداری در شرایط محیطی نشان داده شد که میوه‌های برداشت شده در درجه بلوغ پایین دارای زندگی سبز طولانی‌تری هستند (Narayana and Mustaffa, 2006). لذا با توجه به اینکه میوه موز از نظر ابعاد و شکل بسیار متنوع می‌باشد، هدف از مطالعه حاضر بررسی تغییرات پارامترهای رنگی، ابعادی و شیمیایی چندین گروه میوه موز (متفاوت از لحاظ شکل ظاهری) و همچنین میزان بازارپسندی هر شکل و ابعادی در مدت زمان معین با استفاده از ترکیب روش‌های غیرمخرب (تکنیک پردازش تصویر و اندازه‌گیری‌های دستی) و مخرب در نظر گرفته شد. در روش پیشنهادی از طریق مقایسه پارامترهای استخراج شده از روش‌های مخرب و غیرمخرب با نتایج آزمون حسی، یک مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی کیفیت میوه موز در طول دوره انبارمانی و بازارپسندی آن توسعه یافت. بنابراین با استفاده از مدل رگرسیونی پیشنهادی، موزهایی که دلخواه مصرف کننده هستند سفارش داده می‌شوند و بدین ترتیب می‌توان در هزینه‌های اقتصادی به‌طور قابل ملاحظه‌ای صرفه‌جویی نمود.

مواد و روش‌ها

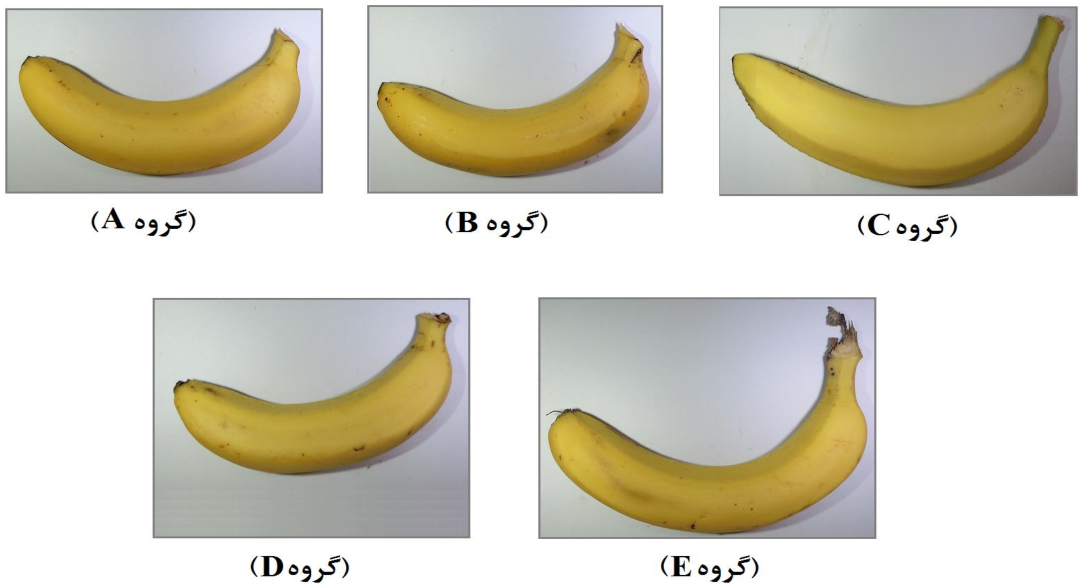
در این پژوهش 100 عدد موز در 5 گروه مختلف که از نظر شکل و اندازه با یکدیگر متفاوت بودند به‌صورت تازه و همزمان با هم از بازار تهیه و در دمای محیط (25 درجه سانتی‌گراد) به دور از نور مستقیم، به مدت 7 روز نگهداری شدند (شکل 1). در این مطالعه، شکل ظاهری و میزان انحنای موزها به‌عنوان معیارهای دسته‌بندی گروه‌های انتخابی (5 گروه مختلف موز) در نظر گرفته شدند. بر این اساس موزهای گروه A دارای اندازه کوچک و انحنای کم بودند و در گروه B در مقایسه با گروه A، موزها از انحنای بیشتری برخوردار بودند. انحنای نمونه‌ها در گروه C زیاد و از لحاظ اندازه متوسط در حالی که اندازه موزهای گروه D بزرگ بود اما انحنای کمی داشتند. ویژگی‌های گروه E نیز همانند گروه D بود اما میزان انحنا در این گروه (گروه E) مقدار بیشتری داشت. در مدت انبارمانی، از هر گروه به‌صورت یک روز در میان (روزهای صفر (شاهد)، دوم، چهارم و ششم)، 5 عدد نمونه انتخاب و پس از اخذ تصویر و اندازه‌گیری‌های دستی تحت آزمایش‌های مخرب (روش آزمایشگاهی) و آزمون‌های حسی قرار می‌گرفتند.

سامانه عکس برداری و پردازش تصویر

به‌منظور عکس‌برداری، هر یک از نمونه‌ها درون جعبه‌ای چوبی به ابعاد طول، عرض و ارتفاع 25 سانتی‌متر قرار داده می‌شد. این جعبه به‌گونه‌ای طراحی شده بود که در قسمت بالایی آن یک دوربین دیجیتال (CASIO، Exilim EX-ZR700، 16 مگا پیکسل، ژاپن)

1 Genetic Programming
2 Total Suspended Solids

بین دو عدد لامپ LED 50 وات جهت نورپردازی فضا قرار داشت. پس از اخذ تصاویر توسط دوربین که عمود بر سطح تصویربرداری بود با انتقال تصاویر به رایانه عملیات پردازش تصویر با استفاده از نرم‌افزار Matlab R2017a انجام پذیرفت.



شکل 1- نمایش شکل ظاهری 5 گروه انتخابی A، B، C، D و E

شکل 2 روند کلی پیش‌بینی پذیرش کلی میوه موز توسط سامانه پیشنهاد شده را نشان می‌دهد. بدین منظور پس از اخذ تصویر نمونه در شرایط ثابت نورپردازی، عملیات پیش‌پردازش مانند بهبود و بارزسازی تصویر، حذف نویز به روش باز کردن ناحیه[1] و اجرای فرآیند بخش‌بندی تصویر با استفاده از روش آستانه‌گذاری تطبیقی اتسو[2]صورت گرفت (Gonzalez *et al.*, 2004). سپس در نهایت 11 پارامتر رنگی (R، G، B، L، a، b، h، s، v، C و H) و 4 پارامتر ابعادی (قطر، شعاع انحنا، طول بزرگ و طول کوچک) از هر تصویر موز استخراج شدند. لازم به ذکر است که برای محاسبه پارامترهای ابعادی از یک الگوریتم نقطه‌یابی جهت یافتن نقاط اصلی واقع در ابتدا و انتهای موز (سر و دم موز) و همچنین معادله خط حاکم بر نقاط میانی استفاده شد.

فضاهای رنگی RGB، Lab و hsv

در این پژوهش بعد از اخذ تصاویر در فضای رنگی RGB (R متوسط پارامترهای رنگی قرمز [0، 255]، B متوسط پارامترهای رنگی سبز [255، 0] و G متوسط پارامترهای رنگی آبی [255، 0]) تصاویر به دو فضای رنگی Lab و hsv منتقل شدند (Gonzalez *et al.*, 2009). در فضای رنگی Lab، کانال L یک عامل روشنایی است؛ a و b به‌ترتیب، توصیف‌گر رنگ از سبز به قرمز و از آبی به زرد هستند. فضای رنگی hsv نیز شامل اجزای فام، اشباع و مقدار (روشنایی) است (Garcia- Mateos *et al*., 2015). لازم به ذکر است که علاوه بر 9 مختصه رنگی مربوط به 3 فضای رنگی پیشنهادی، دو پارامتر رنگی C و H نیز از فضای Lab با استفاده از روابط 1 و 2 به‌دست آورده شدند (ندافزاده و آبدانان مهدی‌زاده، 1396).

$$C=\sqrt{a^2+b^2} \tag{1}$$

$$H=a\tan\left(\frac{b}{a}\right) \tag{2}$$

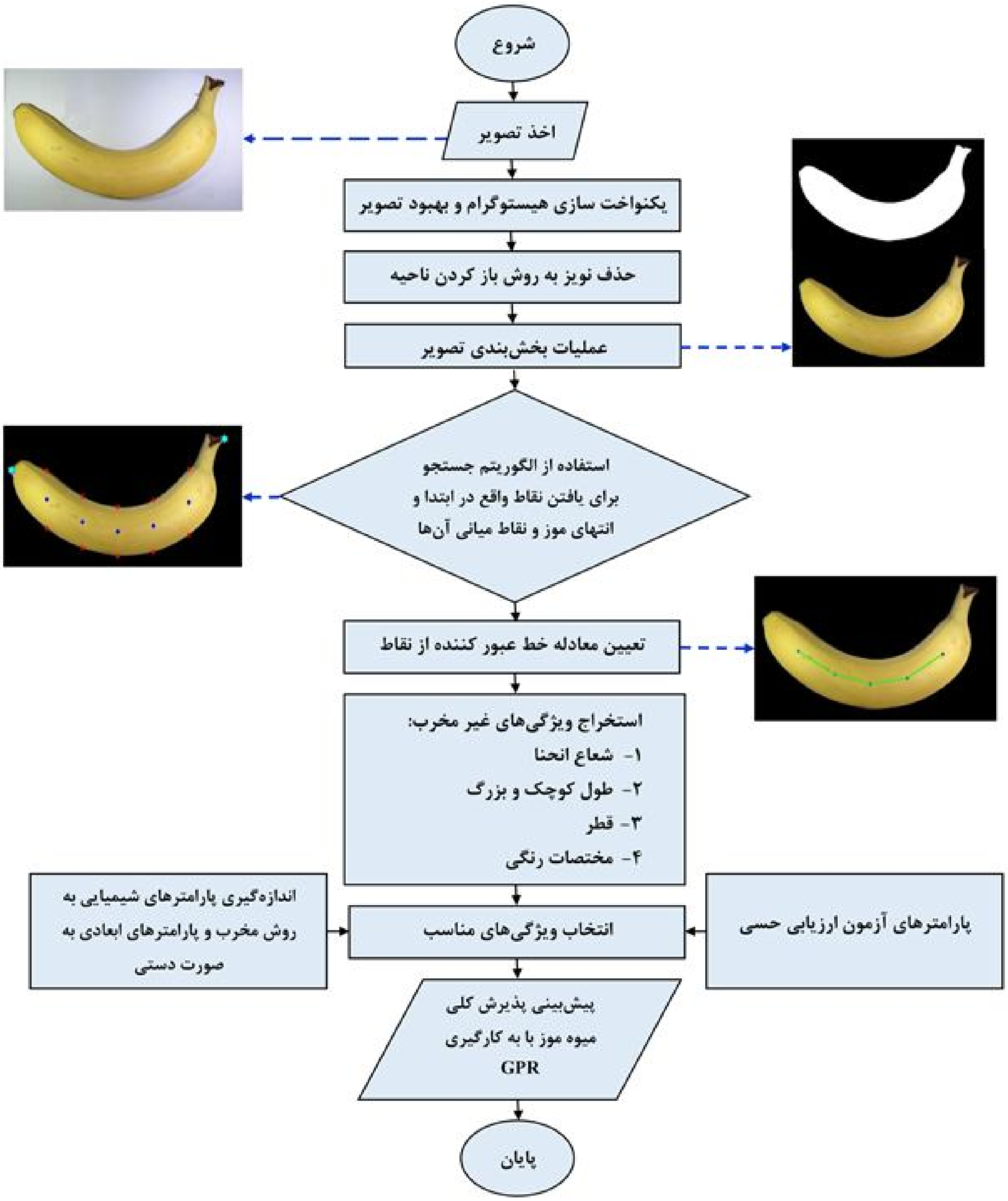
در روابط فوق a بیانگر رنگ از سبز به قرمز و b بیانگر رنگ از آبی به زرد می‌باشند.

اندازه‌گیری پارامترهای ابعادی

در این مطالعه پارامترهای ابعادی شعاع انحنا، قطر، طول بزرگ و طول کوچک بر اساس واحد پیکسل از تصویر منطقه موز استخراج شدند؛ سپس بعد از انجام فرآیند کالیبراسیون، این پارامترها بر حسب میلی‌متر گزارش گردیدند. در این تحقیق به‌منظور انجام کالیبراسیون،

1 Area opening
2 Otsu

ابتدا تصویر یک خط‌کش با طول معین (برحسب میلی‌متر) تحت شرایط ثابت نورپردازی توسط دوربینی که در همه مراحل آزمایشات در یک فاصله ثابت نسبت به سطح تصویربرداری قرار داشت، اخذ گردید. سپس از طریق پردازش تصویر توسط نرم‌افزار Matlab R2017a ، طول این خط‌کش برحسب پیکسل از تصویر استخراج شد. پس از آن، با ضرب مقادیر پارامترهای استخراج شده از تصاویر موز در نسبت اندازه واقعی طول خط‌کش (برحسب میلی‌متر) به طول استخراج شده آن از تصویر (برحسب پیکسل)، فرآیند کالیبراسیون (تبدیل کمیت پیکسل به میلی‌متر) انجام پذیرفت.



شکل 2. دیاگرام روندنمای پردازش تصویر

برای محاسبه پارامترهای ابعادی ابتدا با استفاده از یک الگوریتم جستجو، نقاط اصلی واقع در ابتدا و انتهای موز و همچنین نقاط میانی آن‌ها یافته شدند، سپس با اندازه‌گیری فاصله بین نقاط مورد نظر از طریق روش شمارش پیکسل (PC[1])، مقدار هر یک از پارامترهای طول بزرگ، طول کوچک و قطر مشخص گردید (شکل 3). در ادامه با تعیین معادله خط عبورکننده از نقاط میانی موز ($y(x)$) مقدار شعاع انحنا از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Sochi, 2016):

$$R = \frac{[1+(y'(x))^2]^{\frac{3}{2}}}{|y''(x)|} \quad (3)$$

لازم به ذکر است که در مدت آزمایشات به‌منظور تأیید صحت اندازه‌گیری‌ها، برخی از این پارامترها (قطر، طول بزرگ و طول کوچک) با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری مانند کولیس و خط‌کش به‌صورت دستی اندازه‌گیری می‌شدند

اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی از طریق آزمایش‌های مخرب

کل مواد جامد محلول (TSS)

به‌منظور اندازه‌گیری TSS، مقدار 2 گرم از بافت له شده میوه (این نمونه از وسط میوه جدا شد) همراه با 10 میلی‌لیتر آب مخلوط گردید. سپس با عبور دادن مخلوط به‌دست آمده از صافی، و استفاده دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی (MA882، ژاپن)، مقدار TSS تعیین و یادداشت گردید.

pH و اسیدیته کل قابل تیتراسیون

برای تعیین مقادیر pH و اسیدیته کل قابل تیتراسیون، 10 میلی‌لیتر از مایع به‌دست آمده در بخش قبل در دستگاه تیتراتور آنالیز آب میوه (Hanna Instrument/HI84532-02، آمریکا) مقادیر pH و اسیدیته کل قابل تیتراسیون اندازه‌گیری شد.

ارزیابی حسی

در مدت آزمایشات به‌منظور انجام ارزیابی حسی در این پژوهش 15 نفر ارزیاب انتخاب شدند. هر یک از افراد ارزیاب، نمونه‌ها را از لحاظ رنگ، طعم و رایحه، بافت، شکل و پذیرش کلی آزمودند. همچنین از هر یک از آن‌ها خواسته شد که به هر کدام از موزها بدون در نظر گرفتن لکه‌های قهوه‌ای نمره دهند. در نهایت داوران با توجه به پارامترهای مورد ارزیابی، در یک مقیاس هدونیک 9 نقطه‌ای امتیازهایی بین 1 (دوست نداشتن شدید) تا 9 (دوست داشتن شدید) به هر موز اختصاص دادند (Goudarzi *et al.*, 2014).

رگرسیون فرآیند گاوسی (GPR[2])

فرآیند گاوسی (GP)، مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی است که هرکدام از آن‌ها دارای توزیع گاوسی مشترک هستند. تحلیل رگرسیون فرآیند گاوسی (GPR) راهی برای دسته‌بندی داده‌ها بر اساس ساختارهایی که در آن‌ها تعبیه شده است، فراهم می‌کند. در فرآیند گاوسی (GP) تابعی با عنوان تابع توزیع f تعریف می‌شود. در این فرآیند f نگاشتی از فضای ورودی X به فضای R است و برای هر زیر مجموعه متناهی از X، توزیع حاشیه‌ای آن $p(f(x_1), f(x_2), \ldots, f(x_n))$ است که یک توزیع نرمال چندمتغیره می‌باشد (Yoruk *et al.*, 2004). فرآیند گاوسی پارامتریک با استفاده از تابع میانگین $m(x)$ و تابع کوواریانس $k(x_i, x_j)$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f\,|X \sim N(m(x), K(X,X)| \quad (4)$$

و رابطه هم‌ارز آن عبارت است از:

$$f(x) \sim gp(m(x), k(x_i, x_j)) \quad (5)$$

در رابطه فوق ردیف‌های ماتریس X، بردارهای ورودی هستند، f یک بردار از مقادیر تابع است و $K(X,X)$ ماتریس کوواریانس $n \times n$ را نشان می‌دهد به‌طوری که $K_{ij}= k(x_i, x_j)$. به‌منظور برآزش اولیه GP، مدل رگرسیون فرآیند گاوسی با در نظر گرفتن y به‌عنوان یک مشاهده همراه با نویز گاوسی ε به‌صورت رابطه (6) بیان می‌شود:

$$y = f(x)+\varepsilon, \qquad \varepsilon \sim N(0,\sigma_n^2) \quad (6)$$

توزیع مشترک خروجی‌های آموزشی y و خروجی‌های آزمون f_*، با تابع متوسط صفر عبارت است از (رابطه 7):

$$\begin{bmatrix} y \\ f_* \end{bmatrix} \sim N\left(0, \begin{bmatrix} K(X,X)+\sigma_n^2 I & K(X,X_*) \\ K(X_*,X) & K(X_*,X_*) \end{bmatrix}\right) \quad (7)$$

که در آن X و X_* به‌ترتیب ماتریس داده‌های آموزشی و آزمون طرح هستند. با مقید کردن f_* بر روی مشاهده y می‌توان پیش‌بینی توزیع را به‌صورت زیر نمایش داد (رابطه 8):

$$f_*\left|X, y, X_* \sim N(\overline{f}_*, V(f_*)\right| \quad (8)$$

که در آن $\overline{f_*}$ و $V(f_*)$ از روابط (9 و 10) به دست می‌آیند:

---

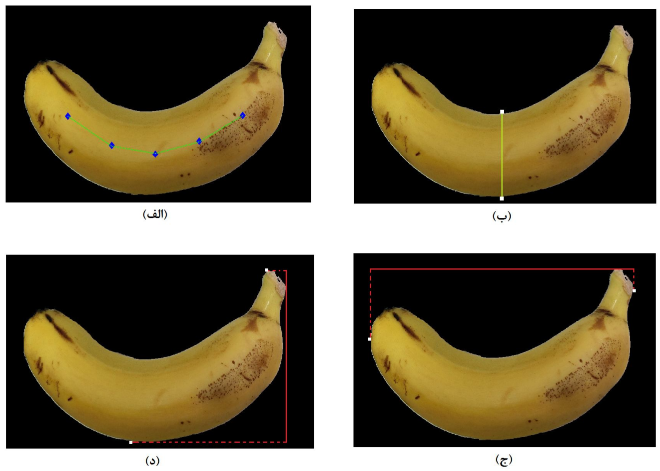
1 Pixel Count

2 Gaussian Process Regression

$$\bar{f}_* = K(X_*,X)\left[K(X,X)+\sigma_n^2 I\right]^{-1} y \qquad (9)$$

$$V(f_*) = K(X_*,X_*) - K(X_*,X)\left[K(X,X)+\sigma_n^2 I\right]^{-1} K(X,X_*) \qquad (10)$$

برای ماتریس‌های کوواریانس علامت‌های $K(X_*,X_*)$، $K(X,X_*)$ و $K(X_*,X)$ شبیه نماد قبلی $K(X,X)$ هستند.



شکل 3- استخراج پارامترهای ابعادی: الف) شعاع انحنا، ب) قطر، ج) طول بزرگ و د) طول کوچک

معادله 9 نشان می‌دهد که میانگین پیش‌بینی، یک ترکیب خطی از مشاهده نویزدار y است. به‌طور کلی کدگذاری GPR با این فرض است که احتمالاً ورودی‌های نزدیک به هم دارای خروجی‌های مشابه هستند، از این رو به نمونه‌هایی با نقطه دارای مقادیر مشابه، وزن‌های بالاتری اختصاص داده می‌شود. در این تحقیق از دو- سوم داده‌ها برای آموزش و از یک-سوم باقی‌مانده داده‌ها (داده‌های نادیده) به‌منظور آزمون مدل رگرسیون استفاده شد. عملکرد تابع توسعه‌یافته (f) با استفاده از روابط 11 تا 14 ارزیابی گردید (He and Siu, 2011).

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left|f(x_i)-y_i\right|}{y_i} \qquad (11)$$

(میانگین خطای مطلق)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(f(x_i)-y_i)^2}{y_i}} \qquad (12)$$

(مجذور میانگین مربعات خطا)

$$SRE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i-f(x_i))^2}{n-2}} \qquad (13)$$

(خطای رگرسیون استاندارد)

$$RAV = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\sqrt{(y_i-f(x_i))^2}}{y_i} \qquad (14)$$

(میزان دقت نسبی)

که در آن‌ها $f(x_i)$ تابع توسعه یافته مدل رگرسیون تولید شده، x_i مقدار هر یک از داده‌ها، y_i داده‌های حقیقی اندازه‌گیری شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

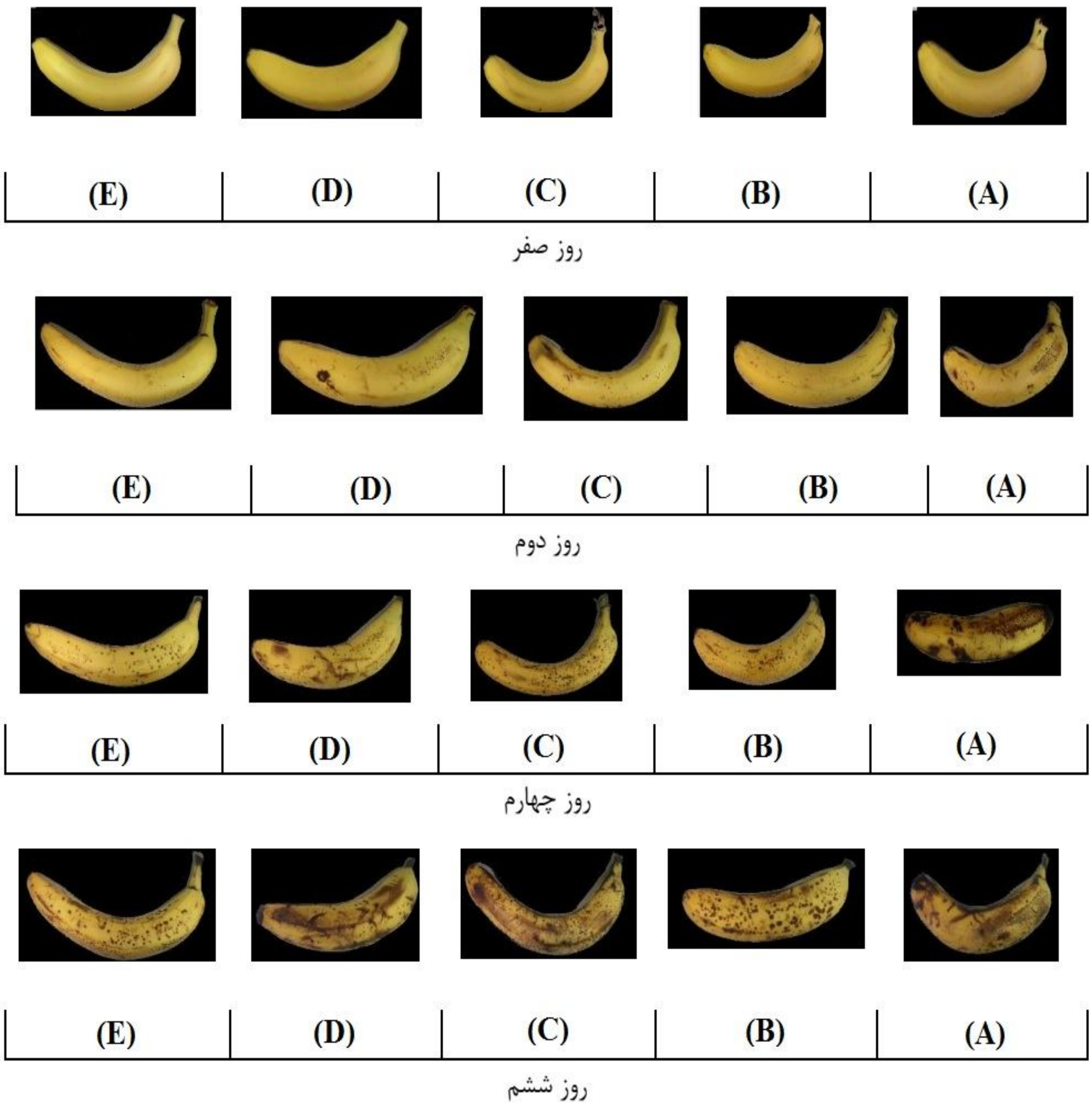
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تحلیل آماری همه پارامترهای اندازه‌گیری شده در 4 زمان نگهداری (روزهای صفر، دوم، چهارم و ششم) در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با 5 تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3 و در سطح معنی‌داری 5% با کمک آزمون چند مقایسه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

در این مطالعه با بررسی مجموعه‌ای از پارامترهای کیفی (پارامترهای رنگی، ابعادی و شیمیایی) میوه موز مشاهده شد که به تدریج با گذشت زمان همراه با ظاهر شدن لکه‌های قهوه‌ای رنگ بر روی پوست موز، بسیاری از این پارامترها تغییر کردند. شکل 4 تغییرات کیفیت 5 گروه مختلف موز (متفاوت از لحاظ شکل ظاهری)

را در طی مدت انبارمانی در روزهای صفر (شاهد)، 2، 4 و 6 نشان می‌دهد.



شکل 4- نمایش تغییرات کیفیت 5 گروه مختلف موز در مدت انبارمانی (روزهای صفر، 2، 4 و 6)

بررسی پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش از لحاظ معنی‌داری

نتایج تجزیه واریانس مربوط به طرح آماری در جداول 1 و 2 نشان داده شده است. اثر روز، گروه موز و همچنین اثر روز بر گروه موز در مدت انبارمانی معنی‌دار بوده است. این مسأله حاکی از آن است که از لحاظ آماری در سطح احتمال حداکثر 5% بین اکثر میانگین‌های پارامترهای مورد بررسی در مدت انبارمانی اختلاف وجود دارد. در ادامه نتایج حاصل از مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در مدت آزمایشات به تفضیل توضیح داده می‌شود.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مجموعه‌ای از پارامترهای ابعادی در حالت دستی، شیمیایی و پارامترهای آزمون حسی ۵ گروه میوه موز در مدت انبارمانی

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات												
		TSS	pH	اسیدیته	امتیاز	رنگ	طعم و رایحه	بافت	شکل	پذیرش کلی	طول کوچک دستی	طول بزرگ دستی	قطر دستی
موز	۴	**۱۳۲/۳۱	**۳۷/۱۷	**۱/۵۱	**۹/۸۵	**۷۳/۹۹	**۶۵/۳۹	**۵۹/۲۸	**۷۵/۶۰	**۷۶/۰۹	**۲۴۵۸/۸۱	**۶۳۳۲/۱۰	**۱۰۰/۶۷
روز	۳	**۱۰۳/۰۹	**۳۲/۲۴	*۰/۲۹	**۴/۶۸	**۲۷/۸۵	**۵۴/۸۸	**۵۲/۴۲	**۱۷/۸۴	**۳۰/۵۷	**۲۶۶/۰۲	**۱۸۶/۵۱	**۱۲/۲۷
موز× روز	۱۲	**۷/۶۳	**۲۵/۶۳	**۰/۲۰	**۲/۹۷	**۴/۳۰	**۲/۵۷	**۳/۱۷	**۴/۰۰	**۲/۵۵	**۱۰۰/۳۹	**۳۹۳/۵۲	**۱۰/۶۶

*، ** و ns به‌ترتیب تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪، ۱٪ و عدم تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای استخراج شده از تصاویر ۵ گروه میوه موز در مدت انبارمانی

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات														
		R	G	B	L	a	b	h	s	v	C	H	شعاع انحنا	طول کوچک	طول بزرگ	قطر
موز	۴	**۲۸۸۶/۰۳	**۳۳۰۴/۴۰	**۴۹۹/۲۴	**۲۳۳۸/۰۵	**۲۴/۷۰	**۶۴/۳۳	**۱/۳۶	**۱/۳۰	**۱/۴۰	**۱۴/۷۱	**۲۱۶/۲۵	**۳/۱۰	**۲۶۶۸/۳۸	**۱۳۰۶۵/۶۹	**۱۱۴/۲۲
روز	۳	**۸۷۰۹/۵۷	**۸۲۰۳/۲۶	**۱۷۱۰/۵۴	**۸۰۲۸/۹۲	**۴۴/۱۳	**۳۴۸/۶۹	**۰/۵۲	*۰/۴۶	*۰/۴۸	**۸۴/۱۱	**۲۲۳/۶۷	**۵/۹۰	**۴۲۷/۹۲	**۹۷/۵۷	**۴۰/۱۰
موز× روز	۱۲	**۱۹۵/۱۴	**۱۱۴/۲۴	**۶۳/۴۶	**۹۳/۷۲	**۳/۵۸	**۷/۰۰	**۰/۳۱	**۰/۳۳	**۰/۳۱	**۶/۴۴	**۲۲۰/۳۰	**۳/۲۶	**۱۲/۹۵	**۶۶/۳۱	**۴/۶۵

*، ** و ns به‌ترتیب تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪، ۱٪ و عدم تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد.

در این پژوهش به‌منظور بررسی اختلاف معنی‌داری میان پارامترهای استخراج شده از تصاویر نمونه‌های موز، پارامترهای اندازه‌گیری شده دستی و پارامترهای شیمیایی، آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5% انجام شد (جدول 3). مطابق جدول (3) مشاهده می‌گردد که مقادیر مختصات رنگ R، G، B، L، b، h، v، c، H ضمن معنی‌دار بودن اختلافات بین تیمارها در سطح احتمال 5% با گذشت زمان طی مدت انبارمانی به تدریج به دلیل از بین رفتن تازگی اولیه موزها کاهش یافتند. پارامتر S نیز طی دوره انبارمانی دارای روند نزولی بود و اختلاف مقدار این پارامتر در روزهای نخست آزمایشات نسبت به روزهای پایانی به‌صورت معنی‌دار مشاهده گردید. همچنین تغییرات پارامتر مختصه رنگی a از مقدار 14/54 به 20/24 نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار مقدار آن در طول دوره انبارمانی است. این تغییرات پارامترهای ذکر شده، حاکی از تیرگی نمونه‌ها در طول دوره انبارمانی می‌باشد. نتیجه مشاهده شده با پژوهش‌های نعمتی‌نیا و همکاران (1396) و Cho و همکاران (2016) در یک راستا می‌باشند.

جدول 3- مقایسه میانگین مربوط به پارامترهای استخراج شده از تصاویر موز (پارامترهای رنگی)

تیمار	صفات										
	R	G	B	L	A	B	h	s	v	C	H
روز صفر	166/562[a]	141/065[a]	168/130[a]	61/69[a]	14/54[c]	-10/68[a]	0/127[a]	0/660[a]	0/452[a]	199/550[a]	0/853[a]
روز دوم	155/371[b]	128/748[b]	156/705[b]	57/13[b]	15/35[b]	-11/11[b]	0/122[b]	0/659[a]	0/441[b]	197/342[b]	0/835[b]
روز چهارم	138/574[c]	112/809[c]	153/127[bc]	51/26[c]	18/11[a]	-18/09[c]	0/117[c]	0/630[b]	0/430[c]	195/928[bc]	0/822[c]
روز ششم	124/028[d]	99/034[d]	148/457[c]	46/12[d]	20/24[a]	-23/34[d]	0/112[d]	0/605[b]	0/419[d]	194/935[c]	0/812[d]

حروف غیرمشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05

طبق جدول (4) مشخص گردید که مقادیر شعاع انحنا طی مدت انبارمانی به‌صورت معنی‌داری کاهش یافته است ($P<0/05$). علت این مسأله تغییرات به‌وجود آمده در بافت میوه موز بود که نهایتاً به تدریج منجر به نرم شدن آن و کاهش میزان شعاع انحنا گردید. علاوه بر این همان طور که در جدول 4 مشاهده می‌شود همراه با تغییرات بافت میوه، مقادیر طول کوچک و طول بزرگ نیز روندی کاهشی از خود نشان دادند. این درحالی است که برای پارامتر طول کوچک و قطر این کاهش سبب بروز اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5% معنی‌دار میان روزهای مختلف انبارمانی بود اما در طول بزرگ علی‌رغم روند کاهشی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ($P>0/05$).

جدول 4- مقایسه میانگین مربوط به پارامترهای استخراج شده از تصاویر موز (پارامترهای فیزیکی)

تیمار	صفات			
	شعاع انحنا (mm)	طول کوچک (mm)	طول بزرگ (mm)	قطر (mm)
روز صفر	542959[a]	66/886[a]	171/524[a]	37/697[a]
روز دوم	216709[b]	63/984[b]	170/604[a]	35/541[b]
روز چهارم	152354[c]	60/573[c]	169/029[a]	35/153[c]
روز ششم	91415[d]	57/248[d]	166/759[a]	34/517[d]

حروف غیر مشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05

پس از اجرای آزمون مقایسه میانگین میان پارامترهای شیمیایی حاصل از روش مخرب (روش آزمایشگاهی) در مدت انبارمانی مشاهده شد که پارامترهای TSS، pH، Ma از مقادیر 31/520، 6/147 و 1/071 به مقادیر 26/320، 8/444 و 0/672 تغییر یافتند (جدول 5). این روند نزولی نشان از کاهش میزان اسیدیته، مواد جامد محلول و افزایش مقدار pH میوه طی روزهای انبارمانی است (Zomo *et al*, 2014).

در این تحقیق به‌منظور مقایسه پارامترهای ابعادی اندازه‌گیری شده در دو حالت دستی و استخراج شده از تصویر موز، آزمون t-test انجام پذیرفت (جدول 6). مطابق آنالیز آماری (جدول 6) اختلافات معنی‌داری میان پارامترهای ابعادی اندازه‌گیری شده به روش

غیرمخرب و اندازه‌گیری دستی مشاهده نشد (P<0/05). شایان ذکر است که در این مطالعه، مدت زمانی که صرف اندازه‌گیری دستی پارامترهای ابعادی یک نمونه موز شد برابر 510 ثانیه بود در حالی که همه این اندازه‌گیری‌ها با به‌کارگیری روش پردازش تصویر دیجیتال 1/015 ثانیه به‌طول انجامید. بنابراین می‌توان گفت که روش پیشنهاد شده به‌خصوص در هنگامی که تعداد نمونه‌ها زیاد است علاوه بر برخورداری از دقت بالا در حین اندازه‌گیری، از لحاظ وقت نیز بسیار مقرون به صرفه می‌باشد.

جدول 5- مقایسه میانگین مربوط به پارامترهای شیمیایی و اندازه¬گیری¬های فیزیکی به صورت دستی

تیمار	صفات					
	طول کوچک (mm)	طول بزرگ (mm)	قطر (mm)	TSS	pH	اسیدیته
روز صفر	62/500[a]	161/000[a]	37/728[a]	31/520[a]	6/147[a]	1/071[a]
روز دوم	60/500[ab]	158/400[a]	36/666[b]	29/120[b]	6/204[a]	1/064[a]
روز چهارم	59/940[ab]	156/532[a]	36/314[b]	28/640[b]	6/492[a]	0/900[ab]
روز ششم	54/562[b]	154/440[a]	35/065[c]	26/320[c]	8/444[a]	0/672[b]

حروف غیر مشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05

جدول 6- آزمون t-test بین 3 پارامتر ابعادی قطر، طول کوچک و طول بزرگ در دو حالت دستی و استخراج شده از تصویر موز

پارامتر ابعادی	میانگین مقدار اندازه‌گیری شده دستی (mm)	میانگین مقدار استخراج شده از تصویر (mm)	اختلافات (mm)	P-Value
قطر	36/4435	35/7274	0/7161	0/2765[ns]
طول کوچک	59/3755	62/1732	2/7977	0/4249[ns]
طول بزرگ	157/5903	158/8291	1/2388	0/8231[ns]

ns: اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5% وجود ندارد.

پس از انجام آزمون حسی با توجه به نمرات ارزیاب‌ها، نتایج حاصل از این ارزیابی در جدول 7 گزارش گردید. با توجه به نتایج حاصل از آزمون مقایسه میانگین میان پارامترهای آزمون حسی، مشاهده شد که پارامترهای ارزیابی شده رنگ، طعم و رایحه، بافت، شکل و امتیاز (نمره‌ای که با چشم‌پوشی از لکه‌های قهوه‌ای رنگ به هر موز اختصاص داده شد) دارای روندی نزولی در مدت انبارمانی بودند.

جدول 7- مقایسه میانگین مربوط به آزمون‌های حسی

تیمار	صفات					
	امتیاز	رنگ	طعم و رایحه	بافت	شکل	پذیرش کلی
روز صفر	7/200[a]	5/040[a]	6/640[a]	6/880[a]	6/560[a]	6/160[a]
روز دوم	6/880[ab]	4/160[ab]	4/920[b]	5/240[b]	5/760[ab]	4/920[b]
روز چهارم	6/440[b]	3/080[bc]	4/000[b]	4/160[b]	4/920[bc]	4/080[bc]
روز ششم	6/120[b]	2/320[c]	2/720[c]	3/080[c]	4/160[c]	3/320[c]

حروف غیر مشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05

این روند نزولی برای پارامترهای بافت و طعم و رایحه به‌جز در بین روزهای دوم و چهارم در میان سایر روزهای آزمایشات به‌صورت معنی‌دار مشاهده شد. لازم به ذکر است که سایر پارامترها نیز در مدت آزمایشات تنها در میان روز صفر و روزهای چهارم و ششم از روندی معنی‌دار برخوردار بودند. این بدیهی است که با گذشت زمان به دلیل کاهش کیفیت موزها از میزان رضایت افراد نیز به تدریج کاسته شده

است. همچنین این مسأله بر روی کاهش مقدار پارامتر پذیرش کلی موزها طی دوره انبارمانی تأثیرگذار بود. در مجموع، در این ارزیابی نمونه‌های روز صفر به دلیل برخورداری از رنگ و ظاهری مطلوب (پوست زرد رنگ) همراه با کمترین میزان نقاط قهوه‌ای مقبولیت بهتری نسبت به سایر روزها داشتند. بنابراین امتیاز بالا در آزمون ارزیاب این مطالعه را می‌توان به معنای رنگ مورد پسند و بافت تقریباً سفت موز دانست. اما برای نمونه‌های روز آخر به خاطر افزایش تعداد نقاط قهوه‌ای بر روی پوست میوه که تأثیر مستقیمی بر سایر پارامترهای مورد ارزیابی داشت، نظر افراد جلب نشد

انتخاب مناسب‌ترین ویژگی‌ها براساس نتایج آنالیز همبستگی میان داده‌ها

در این مطالعه برای تعیین تأثیرگذاری پارامترهای اندازه‌گیری شده بر روی پارامترهای آزمون حسی به‌ویژه پارامتر پذیرش کلی میوه، آنالیز همبستگی انجام پذیرفت (جدول 8، 9 و 10).

جدول 8- همبستگی میان پارامترهای استخراج شده از تصاویر موز (پارامترهای رنگی) و آزمون حسی

	R	G	B	L	a	B	h	s	v	C	H	امتیاز	رنگ	طعم و رایحه	بافت	شکل	پذیرش کلی
R	۱																
G	۰/۹۹*	۱															
B	۰/۹۲*	۰/۹۳*	۱														
L	۰/۹۹*	۰/۹۹*	۰/۹۲*	۱													
A	−۰/۷۷*	−۰/۸۳*	−۰/۷۵*	−۰/۸۱*	۱												
B	۰/۹۵*	۰/۹۴*	۰/۹۶*	۰/۹۴*	−۰/۷۱	۱											
H	۰/۸۸*	۰/۹۱*	۰/۸۲*	۰/۹۰*	−۰/۹۳*	۰/۸۴*	۱										
s	۰/۳۶	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۲	−۰/۰۸	۰/۴۸	۰/۳۵	۱									
v	۰/۹۰*	۰/۸۸*	۰/۹۲*	۰/۸۹*	−۰/۶۱	۰/۹۶*	۰/۷۶*	۰/۵۴	۱								
C	۰/۸۱*	۰/۷۶*	۰/۸۵*	۰/۷۸*	−۰/۳۸	۰/۹۱	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۹۲*	۱							
H	۰/۹۵*	۰/۹۷*	۰/۹۵*	۰/۹۶*	−۰/۸۷*	۰/۹۶*	۰/۹۳*	۰/۳۶	۰/۹۰*	۰/۷۸*	۱						
امتیاز	۰/۴۲	۰/۴۲*	۰/۴۵	۰/۴۱	−۰/۳۵	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۴۰	۰/۵۳	۰/۴۸	۰/۴۸	۱					
رنگ	۰/۷۸*	۰/۸۴*	۰/۷۹*	۰/۸۲*	−۰/۹۳*	۰/۷۱	۰/۸۶*	−۰/۰۲	۰/۶۳	۰/۴۱	۰/۸۴*	۰/۳۲	۱				
طعم و رایحه	۰/۸۹*	۰/۹۳*	۰/۸۵*	۰/۹۱*	−۰/۹۳*	۰/۸۲*	۰/۹۲*	۰/۱۳	۰/۷۲	۰/۵۵	۰/۹۲*	۰/۳۴	۰/۹۳*	۱			
بافت	۰/۸۶*	۰/۹۰*	۰/۸۷*	۰/۸۹*	−۰/۸۹*	۰/۸۲*	۰/۹۰*	۰/۱۲	۰/۷۲	۰/۵۷	۰/۹۰*	۰/۲۸	۰/۹۰*	۰/۹۶*	۱		
شکل	۰/۸۴*	۰/۸۶*	۰/۷۳	۰/۸۵*	−۰/۷۷*	۰/۷۰	۰/۷۹*	−۰/۰۰۳	۰/۶۱	۰/۴۶	۰/۷۸*	۰/۱۶	۰/۷۹*	۰/۸۵*	۰/۸۰*	۱	
پذیرش کلی	۰/۸۰*	۰/۸۵*	۰/۸۱*	۰/۸۳*	−۰/۸۹*	۰/۷۳	۰/۸۵*	۰/۰۰۳	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۸۴*	۰/۲۱	۰/۹۵*	۰/۹۴*	۰/۹۶*	۰/۸۲*	۱

حروف غیر مشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵

بر اساس نتایج آنالیز همبستگی میان تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده و پارامترهای ارزیابی حسی مناسب‌ترین ویژگی‌ها انتخاب گردیدند. مطابق جدول 8بین پارامترهای R، G، B، L، a، h، H در بخش پارامترهای رنگی و پارامتر پذیرش کلی ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال 5% وجود دارد. همچنین میان دو پارامتر قطر و شعاع انحنا استخراج شده از تصویر موز و پارامتر پذیرش کلی نیز ارتباطی معنی‌دار مشاهده شد (جدول 9). از میان پارامترهای فیزیکی اندازه‌گیری شده به‌صورت دستی، مشخص گردید که تنها پارامتر قطر با پذیرش کلی ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال 5% دارد (جدول 10). علاوه بر این مطابق با نتایج آنالیز همبستگی این بخش (جدول 8، 9 و 10)، وجود ارتباطی معنی‌دار میان برخی از پارامترهای آزمون حسی مانند رنگ، طعم و رایحه، بافت و شکل و پارامتر پذیرش کلی گزارش گردید. لذا این پارامترها به‌عنوان مناسب‌ترین ویژگی‌ها جهت به‌کارگیری در مدل رگرسیون فرآیند گاوسی انتخاب شدند. در پژوهشی دیگر جهت پیش‌بینی و سنجش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز (PPO[1]) و پراکسیداز (POD[2]) موجود در پوست موز، مجموعه‌ای از ویژگی‌های رنگی به‌عنوان پارامترهای غیرمخرب در طی مدت انبارمانی (9 روز) مورد بررسی قرار گرفتند. در این تحقیق، پارامتر G از جمله ویژگی‌های رنگی بود که با مقدار خروجی معادله حاصل از یک مدل غیرخطی ریاضی طراحی شده با استفاده از GP[3] ارتباطی معنی‌دار داشت (Nadafzadeh *et al*., 2018)؛ بنابراین می‌توان گفت که پارامتر G به‌عنوان یکی از ویژگی‌های رنگی مهم، دارای تغییرات قابل توجهی طی فرآیند قهوه‌ای شدن آنزیمی پوست موز می‌باشد که این نتیجه با مطالعه حاضر در یک راستا است.

1 Polyphenol oxidase
2 Peroxidase
3 Genetic Programming

جدول 9- همبستگی میان پارامترهای استخراج شده از تصاویر موز (پارامترهای فیزیکی) و آزمون حسی

	انحنا	طول کوچک	طول بزرگ	قطر	امتیاز	رنگ	طعم و رایحه	بافت	شکل	پذیرش کلی
انحنا	1									
طول کوچک	0/68	1								
طول بزرگ	0/63	0/95*	1							
قطر	0/88*	0/72	0/74	1						
امتیاز	0/50	0/29	0/20	0/27	1					
رنگ	0/78*	0/60	0/55	0/81*	0/32	1				
طعم و رایحه	0/91*	0/60	0/56	0/84*	0/34	0/93*	1			
بافت	0/82*	0/53	0/49	0/74	0/28	0/90*	0/96*	1		
شکل	0/81*	0/79*	0/79*	0/91*	0/16	0/79*	0/85*	0/80*	1	
پذیرش کلی	0/78*	0/62	0/58	0/77*	0/21	0/95*	0/94*	0/96*	0/82*	1

حروف غیرمشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05

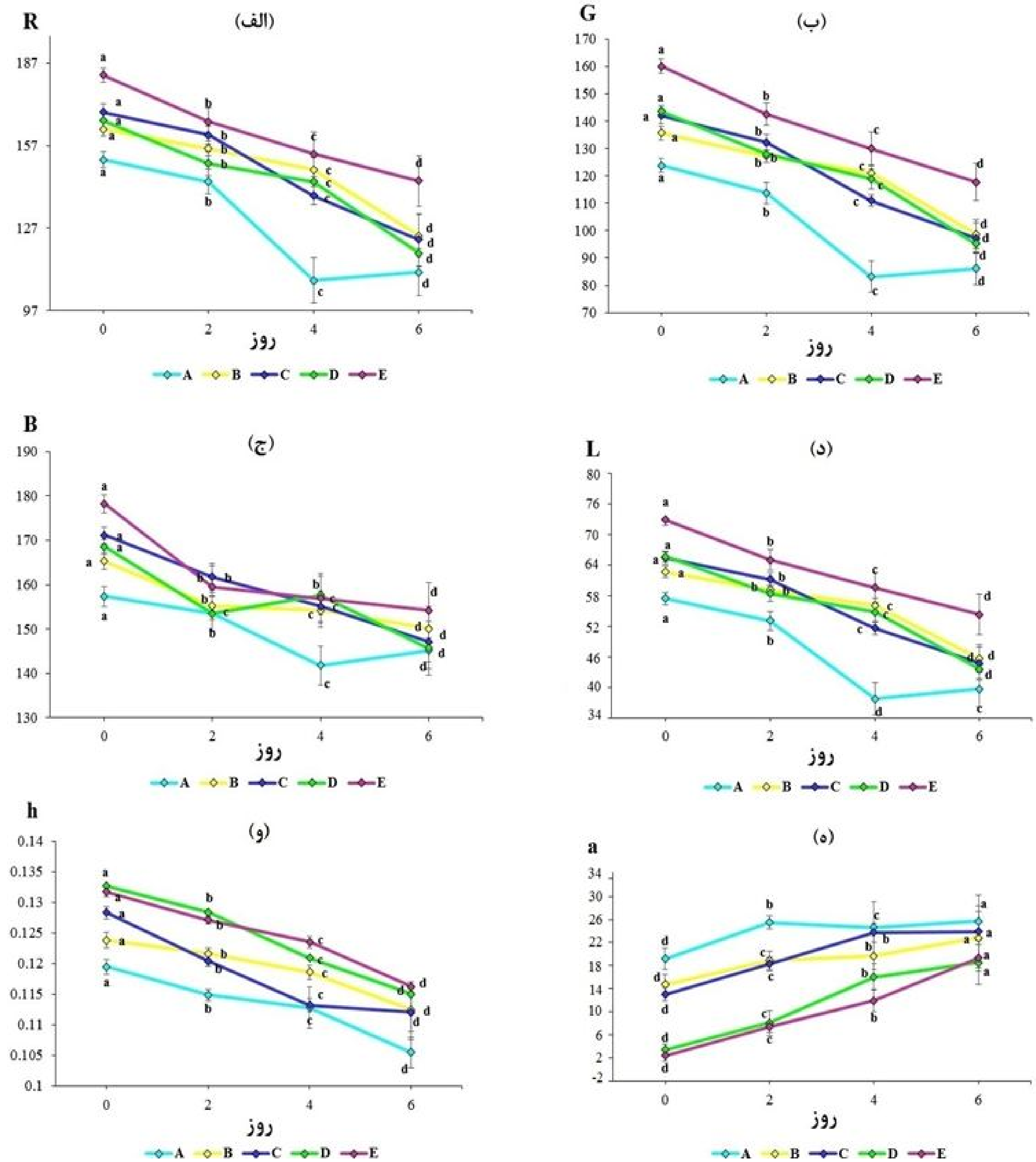
جدول 10- همبستگی میان پارامترهای شیمیایی و فیزیکی (با استفاده از دستگاه‌های مربوطه) و آزمون‌های حسی

	طول کوچک	طول بزرگ	قطر	TSS	PH	اسیدیته	امتیاز	رنگ	طعم و رایحه	بافت	شکل	پذیرش کلی
طول کوچک	1											
طول بزرگ	0/65	1										
قطر	0/76*	0/44	1									
TSS	0/26	0/11	0/24	1								
pH	0/11	-0/001	0/35	0/77*	1							
اسیدیته	0/28	0/50	0/32	0/35	0/45	1						
امتیاز	0/18	-0/004	0/18	0/71	0/60	0/20	1					
رنگ	0/67	0/37	0/86*	0/13	0/24	0/30	0/32	1				
طعم و رایحه	0/66	0/35	0/84*	0/31	0/45	0/46	0/34	0/93*	1			
بافت	0/59	0/31	0/76*	0/21	0/32	0/35	0/28	0/90*	0/96*	1		
شکل	0/86*	0/56	0/92*	0/24	0/26	0/40	0/16	0/79*	0/85*	0/80*	1	
پذیرش کلی	0/67	0/35	0/83*	0/11	0/20	0/27	0/21	0/95*	0/94*	0/96*	0/82*	1

حروف غیرمشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05

مقایسه و بررسی گروه‌های مختلف مورد مطالعه موز

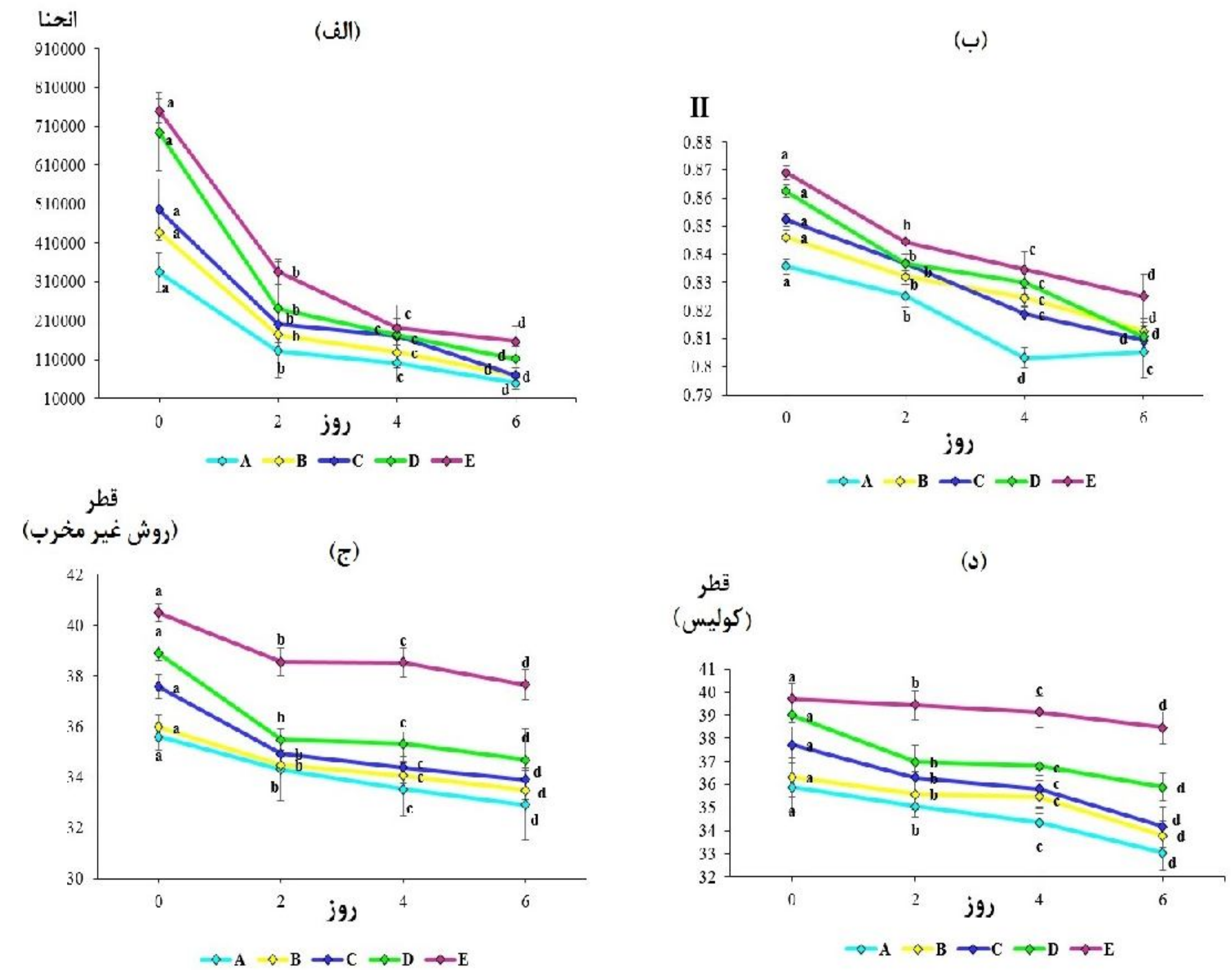
به‌منظور درجه‌بندی گروه‌های مورد مطالعه موز از دید افراد مختلف، روند تغییرات مناسب‌ترین پارامترها (R، G، B، L، a، h، H، پذیرش کلی، شکل، بافت، طعم و رایحه، رنگ، انحنا و پارامتر قطر اندازه‌گیری شده به روش غیرمخرب و اندازه‌گیری دستی) که با توجه به نتایج بخش قبلی دارای ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال 5% با پارامتر پذیرش کلی بودند برای 5 گروه مختلف موز در 4 روز آزمایشات به‌طور جداگانه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت (شکل 5، 6 و 7).



شکل 5- نمایش تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در پنج گروه مختلف موز طی مدت انبارمانی: الف) پارامتر R، ب) پارامتر G، ج) پارامتر B، د) پارامتر L، و) پارامتر h و ه) پارامتر a

همه پارامترها به استثنای پارامترهای a، B و h با صرف نظر از نوسانات جزئی به تدریج با گذشت زمان در مدت انبارمانی روند نزولی از خود نشان دادند. علاوه بر این، مقادیر این پارامترها در گروه E نسبت به گروه‌های دیگر در سطح بالاتری قرار داشت و گروه A دارای پایین‌ترین مقادیر بود. با توجه به شکل (ه-4) نشان داده شد که تغییرات پارامتر a در خلال انبارمانی با چشم‌پوشی از نوسانات موجود دارای روندی افزایشی است، همچنین مقادیر گروه A و E برای پارامتر a به‌ترتیب در بالاترین سطح و پایین‌ترین سطح بودند. مقادیر پارامترهای B و h در روز نخست آزمایشات نسبت به روز آخر دارای بیشترین مقدار بودند. بنابراین با توجه به اینکه بین پارامتر پذیرش

کلی از ارزیابی حسی و پارامترهای مورد نظر در این بخش ارتباط معنی‌داری وجود داشت، این نتیجه حاصل شد که نحوه تغییرات این پارامترها در هر گروه طی دوره انبارمانی بر نمره‌دهی افراد تأثیرگذار بوده است (شکل 6)



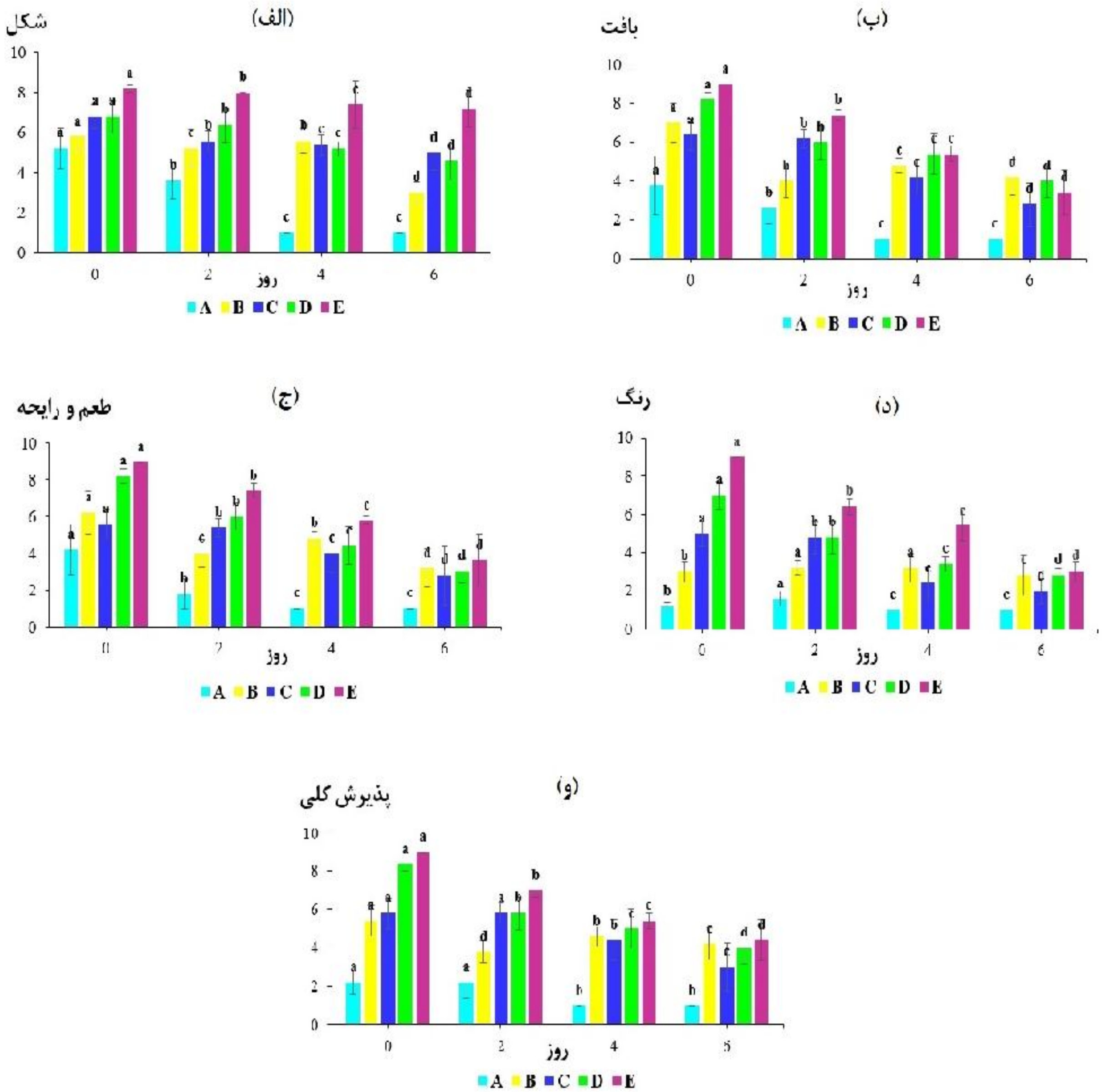
شکل 6- نمایش تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در پنج گروه مختلف موز طی مدت انبارمانی: الف) پارامتر انحنا، ب) پارامتر H، ج) پارامتر قطر اندازه‌گیری شده با استفاده از روش غیرمخرب و د) پارامتر قطر اندازه‌گیری شده توسط کولیس

همان طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود بعد از گروه E به‌ترتیب گروه‌های D، C و B دارای بیشترین میزان پذیرش کلی از دید افراد مختلف بودند و گروه A کمترین میزان توجه را از سوی افراد ارزیاب به‌خود جلب کرد. بدین ترتیب در مجموع می‌توان گفت که بهترین و مقبول‌ترین گروه موز از دید افراد مختلف، موزهایی بلند با انحنای کم (گروه C و D و E) بودند. این گروه‌ها دارای بافتی بسیار لذیذ و طعمی مطلوب بودند و همچنین رنگ پوست آن‌ها یکنواخت و دارای کمترین میزان نقاط قهوه‌ای بود

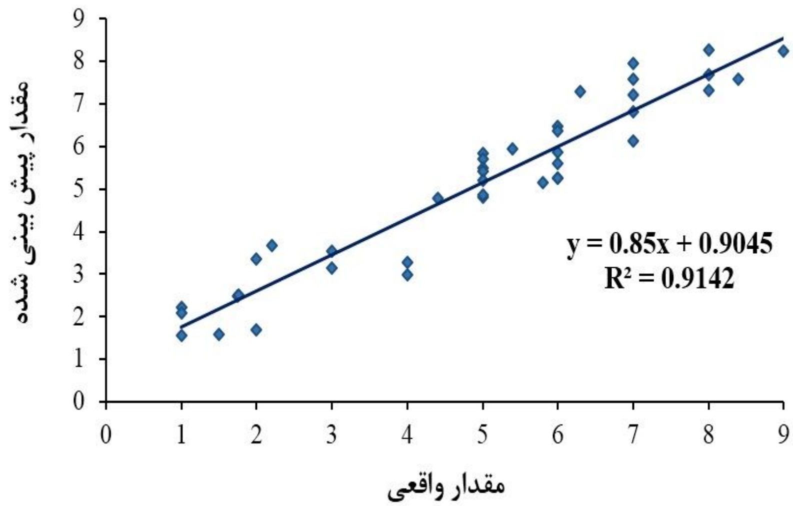
نتایج رگرسیون فرآیند گاوسی

این مطالعه به بررسی توانایی مدل رگرسیونی پیشنهاد شده برای پیش‌بینی پارامتر پذیرش کلی با استفاده از فرآیند گاوسی پرداخته است که نهایتاً بر اساس این پیش‌بینی می‌توان متناسب با هر پذیرشی، موز دلخواه مصرف‌کننده را به بازار عرضه کرد. شایان ذکر است که پارامترهای رنگی R، G، B، L، a، h، H، پارامترهای ابعادی قطر و شعاع انحنا استخراج شده از تصویر موز به‌عنوان ورودی‌های این مدل رگرسیونی و پارامتر پذیرش کلی به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شدند. همانطور که پیش از این نیز گفته شد به‌منظور آموزش این مدل رگرسیونی از 70 داده‌ها و برای آزمون از 30% آن‌ها استفاده گردید. در نهایت توانایی عملکرد مدل با بررسی معیارهایی از قبیل ضریب همبستگی (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAPE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای رگرسیون استاندارد (SRE) و مقدار دقت نسبی (RAV) مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول

11). طبق نمودار مدل رگرسیون ارائه شده (شکل 8) بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده آزمون، ضریب همبستگی معادل 0/91 به‌دست آمد. همچنین با توجه به نتایج عملکرد رگرسیون فرآیند گاوسی (جدول 11) مشخص گردید که این مدل رگرسیونی با مقادیر MAPE، RMSE، SRE و RAV به‌ترتیب برابر 20/47، 0/43، 0/71 و 0/20 دارای عملکردی مطلوب در پیش‌بینی پارامتر پذیرش کلی میوه موز است.



شکل 7- نمایش تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در پنج گروه مختلف موز طی مدت انبارمانی: الف) شکل، ب) بافت، ج) طعم و رایحه، د) رنگ و و) پذیرش کلی



شکل 8- نمودار مدل رگرسیون فرآیند گاوسی

لازم به ذکر است که در این تحقیق به‌منظور مقایسه مقدار واقعی پارامتر پذیرش کلی نسبت به مقدار پیش‌بینی شده آن توسط رگرسیون فرآیند گاوسی، آزمون t-test انجام پذیرفت (جدول 12). مطابق آنالیز آماری (جدول 12) اختلافات معنی‌داری میان مقدار واقعی پارامتر پذیرش کلی اندازه‌گیری شده توسط ارزیاب در طول 7 روز آزمایشات و مقدار پیش‌بینی شده توسط GPR مشاهده نشد ($P>0/05$). لذا با توجه به حداقل بودن میزان این اختلافات می‌توان گفت که عملکرد رگرسیون فرآیند گاوسی به‌منظور پیش‌بینی پارامتر پذیرش کلی قابل توجه و مطلوب است. بنابراین با استفاده از روش رگرسیونی ارائه شده می‌توان پذیرش کلی میوه موز را با داده‌های حاصل از روش غیرمخرب و بدون نیاز به انجام آزمایشات و یا استفاده از پنل تست به‌دست آورد و متناسب با هر نوع تقاضا از سوی مصرف‌کننده آن را به بازار عرضه کرد و از این طریق هزینه‌های اقتصادی را به‌طور چشمگیری کاهش داد.

جدول 11- نتایج عملکرد رگرسیون فرآیند گاوسی (GPR) به‌منظور پیش‌بینی پارامتر پذیرش کلی میوه موز

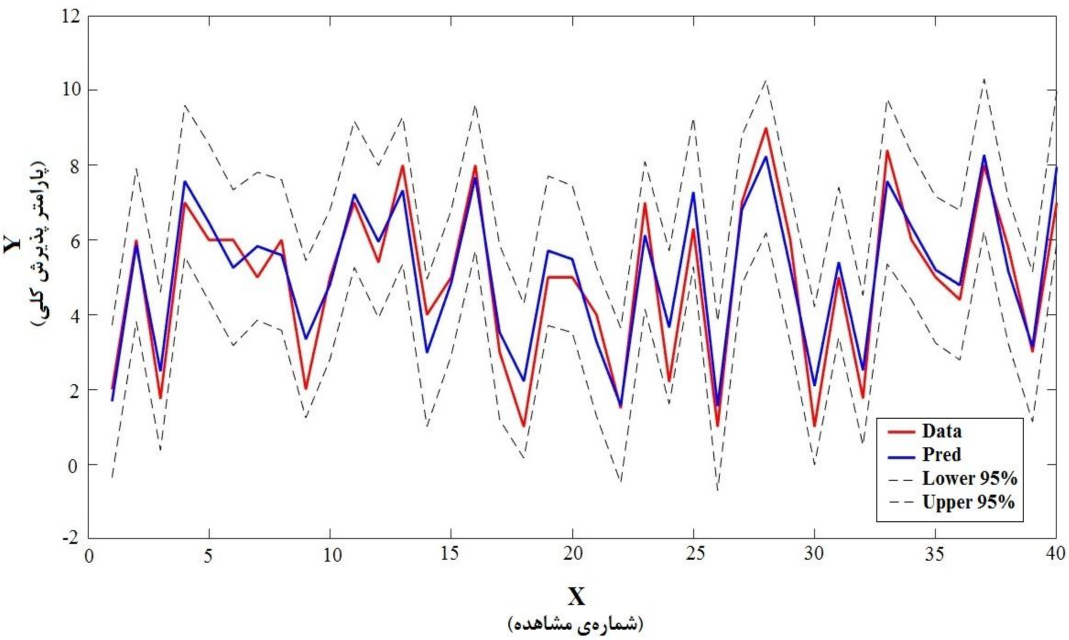
پارامترهای ارزیابی رگرسیون	مقدار پارامترها
R^2	0/91
MAPE	20/47
RMSE	0/43
SRE	0/71
RAV	0/20

جدول 12- آزمون t-test بین مقدار واقعی پارامتر پذیرش کلی میوه موز و مقدار پیش‌بینی شده آن توسط GPR

میانگین مقدار واقعی پذیرش کلی	میانگین مقدار پیش‌بینی شده پذیرش کلی توسط GPR	اختلافات	P-Value
4/93	5/10	0/16	$0/73^{ns}$

حروف غیرمشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05

شکل 9 نمودار حاصل از اجرای مدل رگرسیون فرآیند گاوسی و مقادیر مختلف پذیرش کلی را نشان می‌دهد که گویای اختلاف ناچیز مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر واقعی است که این مسأله با محاسبه مقادیر خطا (جدول 11) و آنالیز آماری (جدول 12) میان مقدار واقعی پارامتر پذیرش کلی نسبت به مقدار پیش‌بینی شده آن توسط رگرسیون فرآیند گاوسی در یک راستا می‌باشد.



شکل 9- نمودار حاصل از اجرای مدل GPR

در پژوهشی دیگر از 2 ویژگی بافت فرکتالی (FDavg و FDlac) و 6 ویژگی رنگی (r، g، B، L، a، b) استخراج شده از تصاویر میوه موز به‌منظور توسعه مدل رگرسیونی گام‌به‌گام جهت پیشگویی دو آنزیم PPO و POD استفاده شد. طبق نتایج این تحقیق مشخص گردید که ویژگی‌های فرکتالی FDavg و FDlac از توانایی بیشتری نسبت به ویژگی‌های رنگی جهت پیشگویی آنزیم‌های POD (R^2=0/903) و PPO (R^2=0/896) برخوردار هستند (سلطانی کاظمی و همکاران، 1396). Sanaeifar و همکاران (2016) با استفاده از الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان (SVR[4]) یک مدل مناسب به‌منظور پیش‌بینی شاخص‌های کیفی موز ارائه دادند. این محققین تابع پایه شعاعی (RBF[5]) را به‌عنوان هسته SVR در نظر گرفتند. در این مدل، مختصات سه فضای رنگی RGB، Lab و HSV به‌عنوان ورودی‌های مدل پیشنهادی انتخاب شدند و خروجی آن شامل مجموعه پارامترهای مقدار کل مواد جامد محلول، pH، اسیدیته قابل تیتراسیون و سفتی بود. مطابق با نتایج تجربی این تحقیق، الگوریتم SVR در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده از دقت پیش‌بینی بالاتر (0/92) و زمان موردنیاز کمتری برای انجام محاسبات و آنالیز برخوردار بود. در مطالعه که توسط Jaiswal و همکاران (2014)، با هدف پیش‌بینی خواص بافت موز طی دوره رسیدگی (به مدت 10 روز) با استفاده از پارامترهای رنگی (مختصات فضای رنگی Lab) انجام شد، چندین نوع معادلات مختلف (خطی، چندجمله‌ای، نمایی و لگاریتمی) به‌منظور تعیین بهترین منحنی برازش داده‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. در میان این معادلات، معادله چندجمله‌ای با برخورداری از مناسب‌ترین ضریب همبستگی (بالای 0/84) به‌عنوان مطلوب‌ترین معادله جهت پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی انتخاب گردید. همچنین در این تحقیق نشان داده شد که همه پارامترهای بافت مورد بررسی (سفتی[6] و چقرمگی[7] پوست و بافت میوه و چسبندگی[8]) و ویژگی‌های رنگی به استثنای مختصه b با میزان رسیدگی موز ارتباطی معنی‌دار داشتند. در همین راستا Zulkifli و همکاران (2019) به‌منظور پیش‌بینی و دسته‌بندی مراحل مختلفی از رسیدگی یک نوع رقم موز (Musa Acuminata cv. Berangan) از تکنیک تصویربرداری LLBI[9] استفاده نمودند. این محققین نشان دادند که همبستگی قوی بین پارامترهای LLBI و رنگ موز و همچنین محتوای مواد جامد محلول (TSS) با ضریب تبیین (R^2) بیش از 0/70 وجود دارد. شایان ذکر است که در این مطالعه با به‌کارگیری روش آنالیز تشخیصی خطی (LDA[10]) نمونه‌های موز در مراحل مختلفی از رسیدگی با دقت 94/2% طبقه‌بندی شدند.

1 Support Vector Regression
2 Radial Basis Function

3 Firmness
4 Toughness
5 Stickiness
6 Laser Light Backscattering Imaging
7 Linear Discriminant Analysis

نتیجه‌گیری

کیفیت ظاهری میوه موز در بازارپسندی و انتخاب آن بسیار مؤثر است. در این پژوهش از تکنیک پردازش تصویر برای استخراج مجموعه‌ای از ویژگی‌های رنگی (R، G، B، L، a، b، h، s، v، C و H) و مورفولوژیکی (قطر، شعاع انحنا، طول بزرگ و طول کوچک) به‌منظور بررسی کیفیت موز در مدت انبارمانی استفاده شد. بدین ترتیب با توجه به نتایج حاصل از آنالیز آماری دانکن در سطح احتمال 5% و نتایج حاصل از همبستگی پیرسون، مناسب‌ترین پارامترها برای به‌کارگیری در مدل رگرسیون فرآیند گاوسی انتخاب شدند. نتایج نشان داد که تکنیک پردازش تصویر در بررسی تغییرات پارامترهای رنگی و ابعادی میوه موز از توانایی مطلوبی برخوردار است و همچنین مدل پیشنهاد شده با ضریب همبستگی 0/91 و میانگین خطای مطلق 20/47، مجذور میانگین مربعات خطای 0/43، خطای رگرسیون استاندارد 0/71 و مقدار دقت نسبی 0/20 دارای عملکردی مطلوب در پیش‌بینی پارامتر پذیرش کلی میوه موز است. از طرف دیگر با توجه به بررسی 5 گروه موز از روی شکل ظاهری و بررسی ارزیاب‌ها می‌توان نتیجه گرفت که واردات موزهایی بلند با انحنای کم (شعاع انحنا در محدوده 750328-496357 میلی‌متر) با توجه به مقبولیت بیشتر مشتری سودآوری زیادی خواهد داشت.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان قدردانی می‌نمایند.

منابع

سلطانی کاظمی، م.، آبدانان مهدی‌زاده، س. ، نداف‌زاده، م. (1396). برآورد میزان دو آنزیم PPO و POD موز با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتالی و آنالیز رگرسیونی چندگانه در طول دوره انبارمانی. فناوری‌های نوین غذایی، 5 (4)، 597-612.

نداف زاده، م.، و آبدانان مهدی‌زاده، س. (1396). تعیین مناسب ترین فضای رنگی به منظور تعیین هوشمند تنش آبی درگیاهان گلخانه‌ای (مطالعه موردی: حُسنِ‌یوسف). مهندسی بیوسیستم ایران، 48 (4)، 418-407.

نعمتی‌نیا، ا.، آبدانان مهدی‌زاده، س.، و ناصحی، ب. (1396). اندازه گیری پارامترهای رنگ در اسپاگتی با استفاده از سیستم بینایی ماشین. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، 14 (73)، 81-71.

Cho, J.S., Lee, H.J., Park, J.H., Sung, J.H., Choi, J.Y., Moon, K.D., 2016. Image analysis to evaluate the browning degree of banana (Musa spp.) peel. *Food Chem*. 194, 1028–1033.

CK Narayana, MM Mustaffa. (2006). Influence of maturity on shelf life and quality changes in banana during storage under ambient condition. *Indian Journal*.

D. Surya Prabha , J. Satheesh Kumar(2015) Department of Computer Applications, School of Computer Science and Engineering, Bharathiar University, Coimbatore 641 046, Tamil Nadu, India

Garcia-Mateos, G., Hernandez-Hernandez, J. L., Escarabajal-Henarejos, D., Jaen-Terrones, S. & Molina-Martinez, J. M.(2015). Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications. *Agricultural Water Management*. 151, 158-66.

Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 2009. Digital Image Processing using MATLAB, 3th ed., Pearson Education India, pp. 1-954.

Gonzalez, R.C., Woods, R.E., Eddins, S.L., 2004. Digital Image Processing Using MATLAB. Pearson Education, India.

Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M., Emam-Djomeh, Z. (2014). Formulation of apple juice beverages containing whey protein isolate or whey protein hydrolysate based on sensory and physicochemical analysis. *Society of dairy technology*., 67, 1-9.

He, H., & Siu, W. C. (2011, June). Single image super-resolution using Gaussian process regression. In Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on (pp. 449-456). IEEE.

Jaiswal, P., Jha, S.N., Kaur, P.P., Bhardwaj, R., Singh, A.K. and Wadhawan, V., 2014. Prediction of textural attributes using color values of banana (*Musa sapientum*) during ripening. *Journal of food science and technology*, 51(6), pp.1179-1184.

Mendoza F, Aguilera JM (2004) Application of image analysis for classification of ripening bananas. J Food Sci 69:E471–E477

Nadafzadeh, M., Mehdizadeh, S. A., & Soltanikazemi, M. (2018). Development of computer vision system to predict peroxidase and polyphenol oxidase enzymes to evaluate the process of banana peel browning using genetic programming modeling. *Scientia Horticulturae*, 231, 201-209.

P Rajkumar, N Wang, G Elmasry, GSV Raghavan, Y Gariepy. (2012). Studies on banana fruit quality and maturity stages using hyperspectral imaging. *Journal of food engineering* 108 (1), 194-200.

Pilar Cano, M Antonia Martin, Carmen Fuster. (1990). Effects of some thermal treatments on polyphenoloxidase and peroxidase activities of banana. *Journal of the science of food and agriculture* 51 (2), 223-231.

Quevedo R, Mendoza F, Aguilera JM, Chanona J, Gutierrez-Lopez G (2008) Determination of senescent spotting in banana (*Musa cavendish*) using fractal texture fourier image. *J Food Eng* 84:509–515.

Quevedo, R., Diaz, O., Ronceros, B., Pedreschi, F., Aguilera, J.M., 2009. Description of the kinetic enzymatic browning in banana (*Musa cavendish*) slices using non-uniform color information from digital images. *Food Res. Int*. 42 (9), 1309–1314.

Riyadi S, Ashrani A, Mohd R, Mustafa M, Hussain A (2007) Shape characteristics analysis for papaya size classification. In: Proceedings of the 5th Student Conference on Research and Development (SCOReD'07), Selangor, Malaysia. IEEE. pp. 371–375.

Rodriguez-Pulido FJ, Gomez-Robledo L, Melgosa M, Gordillo B, Gonzalez-Miret ML, Heredia FJ (2012) Ripeness estimation of grape berries and seeds by image analysis. *Comp Elect Agric* 82: 128–133.

Roseleena J, Nursuriati J, Ahmed J, Low CY (2011) Assessment of palm oil fresh fruit bunches using photogrammetric grading system. Intern Food Res J 18(3):999–1005.

Sanaeifar A., Bakhshipour A. de la Guardia M. (2016). Prediction of banana quality indices from color features using support vector regression. Talanta, 148, pp.54-61.

Singh HP (2010) Dynamics and Co-kinetics of banana research and Development in India. In: Mustaffa MM (ed) Proceedings of the global conference on meeting the challenges in banana and plantain for emerging biotic and abiotic stress, Trichy, Tamil Nadu, India. ICAR, New Delhi, pp 1–14.

Sochi, T (2016). Tensor Calculus Made Simple. Create Space Independent Publishing Platform. p. 170.

Yoruk, R., Yoruk, S., Balaban, M.O., Marshall, M.R., 2004. Machine vision analysis of antibrowning potency for oxalic acid: a comparative investigation on banana and apple. *J. Food Sci.* 69 (6), 281–289.

Zomo, S. A., Ismail, S. M., Shah Jahan, M., Kabir, K. and Kabir, M. H., 2014. Chemical Properties and Shelf Life of Banana (*Musa sapientum* L.) as Influenced by Different Postharvest Treatments. *The Agriculturists* 12(2): 6-17.

Zulkifli N, Hashima N, Abdan K, Hanafi M. (2019). Application of laser-induced backscattering imaging for predicting and classifying ripening stages of "Berangan" bananas. *Computers and Electronics in Agriculture*. 160: 100–107.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 2, June. July. 2020, p. 171- 191

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 2، خرداد - تیر 1399 ص. 191-171

Estimation of the total acceptance of banana fruit using digital image processing and Gaussian process regression model during the storage period

Sh. Nasiri[1], S. Abdanan Mehdizadeh[*2], M. Nadafzadeh[3]

Received: 2019.04.02
Accepted: 2019.07.08

Introduction: The development of brown spots on banana peel has a notable effect on the texture, color and taste of this fruit. So that the appearance of these spots reduces the quality of the fruit and affect its sale market. In recent years, in order to evaluate the quality and classification of agricultural products, the various systems based on computer vision technology have been widely considered. These systems as the computer image analysis methods have been successful in measuring the visual quality of different products (Riyadi et al., 2007; Roseleena et al., 2011; Rodriguez-pulido et al. 2012). According to research by Probha and Kumar (2015), the extracted color properties from the banana image were more effective than other features in identifying the different stages of the banana ripening. Also, Mendoza and Aguilera (2004) detected the different stages of banana ripening based on the color, texture parameters and the distribution of brown spots on banana peel using image processing technique with a precision of 98%. Nadafzadeh et al. (2018) designed a non-linear mathematical model using the Genetic Programming (GP) to predicting and evaluating the activity of polyphenol oxidase enzymes (PPO) and peroxides (POD) during the browning process of the banana peel; using the extracted parameters from image as inputs of proposed model, the correlation coefficients to predicting of PPO and POD enzymes were obtained 0.98 and 0.97, respectively.

The aim of this study was to investigate the changes of color, dimensions and chemical parameters of several banana fruit groups (different in terms of appearance) as well as their marketability (the total acceptance of fruit) by Gaussian regression model (GPR) during the storage period. Therefore, using the proposed method in this research, the required product can be available according to the consumer demand.

Materials and Methods: In this study, one hundred banana samples were prepared from a market on the first day of the experiments. Samples were different in terms of shape and size, and were classified into 5 different groups. Group A had small size and curvature; B group compared to Group A had more curvature; the curvature of the samples in the group C was high, and in terms of size were medium. While the size of the bananas in group D was large, they had a small curvature. Also, the features of the group E were similar to the group D, but the curvature was greater in this group (group E). All of the samples were kept at the ambient temperature (25° C) away from the direct light for 7 days. During the days of experiments (days 0, 2, 4 and 6), five samples were examined from each group: after taking images of samples under the constant light conditions, and performing of manual measurements, they were subjected to destructive tests (laboratory tests) and sensory tests. After the images acquisition of samples, the preprocessing operations such as image enhancement, noise removal by the area opening, and the implementation of the image segmentation process using the method of Otsu adaptive thresholding were conducted (Gonzalez et al., 2004). Finally, 11 color parameters (R, G, B, L, a, b, h, s, v, C, H) and 4 dimensional characteristics (diameter, curvature radius, long and small length) were extracted from each image. In the laboratory method, the TSS value was measured by a digital refractometer, and amount of pH and acidity were also measured by a fruit juice analysis titrator. Eventually, in order to investigate the changes of measured parameters, statistical analysis was performed in a randomized complete block design by SAS 9.3 software at a significance level of 5% using Duncan's multiple comparison test.

Results and discussion: Gradually along with the appearance of dark spots on the banana peel, many of the qualitative parameters such as the color, dimensions and chemical features were changed during the storage period. According to results of the Duncan's multiple range test, the values of color coordinates R, G, B, L, b, h, v, C, and H gradually reduced, and the values of these parameters were significant in all the experiments days ($p<0.05$). The parameter S also had a decreasing trend during the storage period, and the changes of this parameter was significant in the first days of the experiments compared to the ending days; during this period, the color parameter a increased

1 and 2. Graduate Student and Assistant Professor, Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Khuzestan Iran

3. PhD Student, Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: saman.abdanan@gmail.com)

significantly. Due to the changes of the banana fruit texture, the amount of the curvature radius, the small and large lengths, total soluble solids, pH and total titration acidity gradually decreased. Based on the results of the statistical analysis, there were no significant differences between dimensional parameters measured by non-destructive method and manual measurement ($p>0.05$). It is worth noting that in this study, the spent time to conduct the manual measurements of the dimensional parameters of a banana sample was 510 seconds, while all of these measurements were performed using a digital image processing method at 1.015 seconds. Therefore, it can be said that when the number of samples is high, using of the proposed method is also very cost-effective in terms of time, and it has high accuracy during the measurement. In the sensory evaluation, the results show that the best and most acceptable group of bananas were groups C, D and E, which had long size and low curvature; these groups of bananas had delicious texture, desirable flavor and low levels of brown spots on their peel. In the following, the non-destructive parameters were used to the development of Gaussian regression model (GPR), and finally, it was shown that the quality of banana fruit as well as its marketability (the total acceptance of fruit) are predictable during the storage period by GPR with a correlation coefficient of 0.91, MAPE (20.47), RMSE (0.43), SRE (0.71) and RAV (0.20.(

The appearance quality of the banana fruit is very effective in its acceptability for customer. In this research, the image processing technique as a non-destructive method was used to extract a set of color (R, G, B, L, a, b, h, s, v, C and H) and morphological properties (diameter, curvature radius, long length and small length) from banana image in order to evaluate its quality during storage. According to the results of Duncan's statistical analysis at the probability level of 5% and Pearson correlation results, the most suitable parameters were chosen to apply in Gaussian regression model. The results showed that the image processing technique is capable to evaluating the changes of color and dimensional parameters of banana fruit, and also the proposed model have a satisfactory performance (R2=0.91) in predicting the overall acceptance parameter of the banana.

Keywords: Storing period, Acceptability, Digital image processing, Gaussian process regression, Banana